



TITLE:

Groundwater exploitation and its impact on saltwater intrusion in the context of sea level rise due to climate change in Mekong Delta, Viet Nam( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Pham, Thi Viet Nga

---

CITATION:

Pham, Thi Viet Nga. Groundwater exploitation and its impact on saltwater intrusion in the context of sea level rise due to climate change in Mekong Delta, Viet Nam. 京都大学, 2020, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2020-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22421>

RIGHT:

京都大学	博士（工 学）	氏名	Pham Thi Viet Nga
論文題目	Groundwater exploitation and its impact on saltwater intrusion in the context of sea level rise due to climate change in Mekong Delta, Viet Nam （ベトナムメコンデルタを対象とした気候変動による海面上昇および過剰揚水に伴う塩水化に関する研究）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、ベトナムメコンデルタ地域における自然ハザードである海面上昇，および人為ハザードである地下水揚水に伴う地下水の塩水化（以下，塩水化と称す）に着目し，当該地域における現状，および想定されるシナリオに基づく将来における塩水化リスク分析結果に考察を加えるとともに，そのリスク低減を図るための包括的な対策を提言するものであり，以下の6つの章で構成されている．</p> <p>第1章は序論であり，まず現状メコンデルタ地域における急激な経済発展に伴う水需要の増加に関連して，地下水揚水に伴う地盤沈下および地下水の塩水化が，構造物被害および農産物被害等の社会経済的損失を誘発する可能性があることを明らかにしている．次に，過剰な地下水揚水に起因する諸問題は，過去にアジア各国においても発生したが，日本（東京）・韓国（ソウル）・台湾（台北）・タイ（バンコク）の事例を踏まえ，適切な地下水利用マネジメントの導入が重要であることを示している．このような背景を踏まえ，本論文は，メコンデルタ地域はベトナムにおける主要な農産物生産地域であることから，同地域における塩水化リスクに着目した地下水利用マネジメント導入の重要性を理論的・実証的に分析するものであることを明らかにしている．具体的には，同地域において地下水を汲み上げる帯水層の3次元的構造特性，中でも帯水層の分布特性および連続性を明らかにするとともに，現状での塩水化に対して脆弱な地域の特定，および将来的な地下水揚水量の増加に加えて気候変動による海面上昇により塩水化の脆弱性が増すと想定される地域の特定等に関する分析を行うことを説明している．さらに，上記分析結果に加えて，気候変動に起因する諸事項を考慮することで，塩水化リスク低減の観点からの対策についても提言を行うことを説明している．最後に，第2章以降の論文構成について説明している．</p> <p>第2章では，まず地下水揚水に伴い発生する課題として，塩水化および地盤沈下に関する文献サーベイを行い，ベトナムとアジア各国との比較検討を行い，地下水利用マネジメント導入の重要性を明らかにしている．具体的には，塩水化については，ベトナムに加えてタイおよび日本，地盤沈下については，ベトナム，タイ，日本，インドネシア，および中国の事例をそれぞれ比較検討の対象として紹介している．次に，本論文で検討対象とするメコンデルタに関する文献サーベイの結果として，当該地域の気象条件，河川分布，地盤構成，帯水層構成，地下水揚水量およびベトナム政府が発表している2100年までの4種類の海面上昇シナリオについて示している．この内，後続する塩水リスク検討に関連する重要な事項として，以下の事項について紹介している．当該地域の帯水層は8層からなっており，いずれの層においても地下水頭の低下が生じているが，中でもqp2-3層（比較的浅層帯水層）および帯水層n22層（比較的深層帯水層）からの揚水量が支配的であるため，両帯水層での地下水頭の低下が顕著であることを明らかにしている．地下水頭の経時変化は，当該地域の人口動向と密</p>			

京都大学	博士（工 学）	氏名	Pham Thi Viet Nga
<p>接な相関があるため、今後の経済発展により地下水揚水量の増加が想定されることを明らかにしている。また、海面上昇は 1901 年から現状で 20 cm 程度上昇しているが、現状の塩水化と明確な因果関係は明確な相関は議論できないとしている。このため、ベトナム政府が発表している 2100 年までの 4 種類の海面上昇シナリオを引用し、このシナリオに基づく予測データを塩水化の将来予測に適用するとしている。</p> <p>第 3 章では、既往のボーリングデータを用いた当該地域の 3 次元地盤構造解析結果を示し以下のような考察を加えている。当該地域の 3 次元地盤構造は、8 層の帯水層とそれを遮断する粘土層の互層からなっており、その各帯水層は大陸性の河川堆積物の特性を反映しておりほぼ水平状に分布していること、および各帯水層の連続性が高いことを示している。また、地下水頭の低下が顕著であった qp2-3 層は、当該地域北部を流れる河川の河床部と数 10m 程しか離れていないといった知見が得られた。この結果は、第 2 章で示した河川への塩水の侵入が発生した場合には、qp2-3 層において塩水化が進行する可能性があることを示唆する知見を与えるものである。</p> <p>第 4 章では、広域を対象として塩水侵入の脆弱性を定性的に評価する手法である GALDIT 手法を用いて、地下水頭の低下が顕著である qp2-3 層および n22 層における現状（2015 年）での塩水化の脆弱性マップを作成し以下のような考察を加えている。まず、qp2-3 層においては、当該地域北部を流れる河川流域での脆弱性が最も高い一方で、南部海岸域では脆弱性が低いことを示している。この結果は、第 3 章で述べたように、比較的浅い位置に分布する qp2-3 層における塩水化は、河川への塩水の侵入に起因することを明らかにしている。一方、n22 層においては、海岸域での脆弱性が最も高いが、河川に沿った内部域では脆弱性が低いことを示している。この結果は、比較的深い位置に分布する n22 層における塩水化は、地下水頭の低下に伴う沿岸域からの海水の侵入に起因することを明らかにしている。次に、地下水揚水量の予測値、およびベトナム政府が発表している 2100 年までの 4 種類の海面上昇シナリオに基づき、GALDIT 手法を用いて qp2-3 層および n22 層における将来（2030 年）における塩水化の脆弱性マップを作成し以下のような考察を加えている。将来的な地下水揚水量の増加に加えて気候変動による海面上昇を想定した場合には、qp2-3 層では、当該地域北部の沿岸部から河川上流部へ脆弱性が高い領域が拡大するとともに、南部での脆弱性が高まると考察している。一方、n22 層における塩水侵入の脆弱性マップは、現状（2015 年）とほぼ同様であることを示している。この結果は、地下水頭の低下により沿岸域からの海水侵入が支配的となることを示唆するものである。</p> <p>第 5 章では、第 4 章に述べた qp2-3 層および n22 層における将来（2030 年）における塩水化の脆弱性検討結果に加えて、気候変動に更なる影響因子としてメコン川上流からの供給水量の変動を取り上げ、以下のような考察を加えている。現状として、メコン川上流からの供給水量は年毎に多少の変動はあるが全般的には減少傾向にあり、今後河川上流への塩水の侵入域が拡大する可能性があることを明らかにしている。この事項から、河川への塩水の侵入が主要因と想定される比較的浅い位置に分布する qp2-3 層の塩水化はより深刻になる可能性がある」と推察している。以上の本論文にお</p>			

京都大学	博士（工 学）	氏名	Pham Thi Viet Nga
<p>ける塩水リスクに関する検討結果を踏まえて、最後に地下水利用マネジメント立案におけるリスク対応（リスク低減）の観点からの対策として、地下水揚水に関する規制に加えて、地下水および水質観測のモニタリング設備の設置、海水侵入遮水壁建設等の施策を提言している。</p> <p>第6章は結論および今後の提言であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、ベトナムメコンデルタ地域における自然ハザードである海面上昇、および人為ハザードである地下水揚水に伴う地下水の塩水化（以下、塩水化と称す）に着目し、当該地域における現状、および想定されるシナリオに基づく将来における塩水化リスク分析結果に考察を加えるとともに、そのリスク低減を図るための包括的な対策を提言するものであり、以下のような知見を得ている。

1. 当該地域の3次元地盤構造は、8層の帯水層とそれを遮断する粘土層の互層からなっており、その各帯水層は大よそ水平状に分布していること、および各帯水層の連続性が高いことを示した。現状において地下水頭の低下が顕著である qp2-3 層は、当該地域北部の河川の河床部と数 10m 程しか離れていないといった知見が得られた。この結果は、河川への塩水の侵入が発生した場合には、qp2-3 層において塩水化が進行する可能性があることを示唆する重要な知見である。

2. 塩水侵入の脆弱性を評価する手法である GALDIT 手法を用いて作成した現状（2015 年）でのメコンデルタ地域における塩水化の脆弱性マップから、比較的浅い位置に分布する qp2-3 層における塩水化は河川への塩水の侵入、一方比較的深い位置に分布する n22 層における塩水化は、地下水揚水による地下水頭の低下に伴う沿岸域からの海水の侵入に起因する可能性が高いことを明らかにしている。

3. GALDIT 手法を用いて作成した将来（2030 年）における地下水揚水量の増加に加えて気候変動による海面上昇を想定したメコンデルタ地域における塩水化の脆弱性マップから、qp2-3 層では当該地域北部の沿岸部から河川上流部へ脆弱性が高い領域が拡大するとともに、南部での脆弱性が高まると考察している。一方、n22 層における塩水侵入の脆弱性マップは、現状（2015 年）とほぼ同様であることを示している。この結果は、地下水頭の低下により沿岸域からの海水侵入が支配的となることを示唆するものである。この検討結果を踏まえて、地下水利用マネジメント立案におけるリスク対応（リスク低減）の観点からの対策として、地下水揚水に関する規制に加えて、地下水および水質観測のモニタリング設備の設置、海水侵入遮水壁建設等の実施を提言している。

以上、要するに、本論文は、気候変動下における地下水塩害化のリスクに直面しているアジア諸国における開発に伴い発生する人為ハザードへの対応の重要性を理論的・実証的に分析したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 2 年 2 月 10 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。